

MATERIAIS NECESSÁRIOS PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA VIA MOBILIDADE ELÉTRICA RODOVIÁRIA

LUÍS GIL

Direção Geral de Energia e Geologia, Divisão de Estudos, Investigação e Renováveis

Av. 5 de outubro, 208, 1069-203 Lisboa

luis.gil@dgeg.pt

RESUMO

Neste artigo são discutidos aspetos como a transição energética através da eletrificação da mobilidade e, com base nisso, os materiais que serão necessários para a tecnologia motriz associada ao novo tipo de mobilidade elétrica, nomeadamente a terrestre não ferroviária. A descrição desses materiais, a sua quantificação e outros aspetos como o seu fornecimento são aqui abordados e discutidos.

INTRODUÇÃO

O Roteiro para a Neutralidade Carbónica, que está em discussão pública, apresenta a eletrificação como solução de base, esperando no limite a autonomia energética do nosso país até 2050, com base num investimento significativo em renováveis. Esta eletrificação terá impacto em toda a sociedade, nomeadamente a nível da mobilidade.

O sector dos transportes é o maior contribuinte para as emissões de CO₂ relacionadas com a energia na EU-28, tendo atingido em 2015 cerca de 28,3% dessas emissões [1]. Atualmente apenas uma parte desse sector é elétrico, nomeadamente os transportes em carris, mas o mercado automóvel e de ciclomoteres está em franco progresso atualmente [2].

Os veículos elétricos emitem significativamente menos gases de efeito estufa ao longo de suas vidas (incluindo o seu ciclo de fabrico) do que os motores de combustão, mesmo que a eletricidade que os move seja obtida através das mais poluentes formas de geração. É de referir aqui um estudo encomendado pelo Think Tank T&E que revela que no total do seu ciclo de vida (produção do veículo, baterias, geração de energia elétrica consumida,

mesmo que de fontes não renováveis), os veículos elétricos emitem em média menos 50% de gases de efeito estufa que os diesel. Por exemplo, para a Suécia que tem uma das redes de energia mais “limpas” da Europa, as emissões reduzir-se-iam até 85% [3].

Embora a eletrificação dos transportes possa passar pela escolha de um transporte elétrico em detrimento de um a combustíveis fósseis (por exemplo comboio de alta velocidade versus avião), os cenários mais comuns para a transição energética, que está em marcha, apontam para uma rápida eletrificação da mobilidade, nomeadamente a associada aos veículos automóveis, autónomos ou não e a veículos de duas rodas.

Por exemplo, o transporte de pesados, que representa menos de 5% do tráfego rodoviário na EU, gera cerca de 25% das emissões de CO₂ do transporte rodoviário. Mesmo que algum desse transporte pudesse divergir para a ferrovia, o transporte viário que proporciona um serviço de porta-a-porta continuará a desempenhar um importantíssimo papel no futuro [2].

Saliente-se ainda que os carros movidos a motor elétrico (EV) possuem também uma maior eficiência well-to-wheel (da fase de

produção até à utilização final) do que as viaturas com motor de combustão interna (ICE) [2].

As principais diferenças dos EVs em relação aos veículos com motores de combustão que utilizam combustíveis de hidrocarbonetos residem no sistema de motorização. Na verdade, nos veículos elétricos, quer a carroçaria, quer o chassi (embora este possa ter que ser adaptado à montagem das baterias ou aos depósitos de hidrogénio) não apresentam alterações a nível de materiais, o mesmo se passando com os sistemas de rodados, de travagem, de suspensão e outros.

Assim, assenta nos motores elétricos e sistemas de armazenamento de energia associados a grande alteração a nível dos materiais necessários para o novo conceito de mobilidade. Estes podem recorrer a alguns materiais que derivam de matérias-primas que podem ter alguns problemas de disponibilidade a nível quantitativo ou geoestratégico. E a transição energética será apenas sustentável se o uso dos materiais envolvidos for tomado em linha de conta. É por isso que muita investigação se tem centrado no desenvolvimento de motores elétricos isentos de terras raras e em conceitos tais como o design para a reciclagem [2].

Os transportes são de primordial importância para o nosso modo de vida, seja a nível da deslocação de pessoas, seja a nível da movimentação de mercadorias. Por isso, este setor terá, sem dúvida, um importante contributo na descarbonização da economia.

Baseado em dados do Eurostat e outras referências, é referido [2] que em 2017 existiam cerca de 255 milhões de carros na EU-28. Estima-se que em 2040 esse parque automóvel atinja 312 milhões de viaturas. Prevendo-se que cerca de um terço (Bloomberg) sejam EVs, teremos então 104 milhões de carros elétricos. Por outro lado a Agência Internacional de Energia prevê que em 2050 sejam vendidos cerca de 50 milhões de EVs/ano [8]. Existem mais de 40 milhões de e-bicicletas vendidas em todo o mundo em 2013 [9].

No entanto, o caminho para os veículos de emissão zero tem ameaças que podem retardar o progresso do carro elétrico. Os fabricantes de baterias estão preocupados em garantir o abastecimento de ingredientes-chave, principalmente cobalto e lítio. Assim, os fabricantes de

baterias e veículos elétricos dependem da descoberta de mais depósitos desses minerais estratégicos, da economia circular ou do desenvolvimento de tecnologias que não tenham que recorrer aos mesmos.

ENERGIA E ELETROMOBILIDADE RODOVIÁRIA

Uma economia/sociedade hipocarbónica tem que se basear quer em fontes de energia renováveis quer nos seus vetores. O sector elétrico será o mais rápido a descarbonizar devido à grande variedade de fontes de energia sem produção de dióxido de carbono (por exemplo, energia hídrica, eólica, solar).

O contributo da eletricidade para o consumo final de energia deverá aumentar dos atuais cerca de 27% para cerca de 60-70% [4]. Além disso espera-se que em 2050 a produção de energia elétrica na EU seja totalmente carbono-neutra [5].

Mesmo considerando a emissão média de CO₂ da produção de eletricidade na EU-28, um veículo elétrico produzia em 2014 menos de metade dos gases de efeito de estufa que produzia um veículo semelhante usando um motor de combustão interna a gasolina [2, 6].

Para além disso, a eletromobilidade melhora a segurança no abastecimento de energia, podendo até os seus sistemas de armazenamento de energia associados contribuir para uma estabilização da rede. Refira-se que a nível europeu (EU-28) em 2017 se teve que importar 87% do petróleo consumido dos quais 47% devidos ao transporte rodoviário [2, 7]. No entanto, a eletromobilidade poderá vir a criar uma pressão sobre a rede elétrica e investimentos relacionados, face ao incremento do consumo de eletricidade. Entrando agora num domínio mais técnico, é necessário apresentar algumas definições. Assim, é de salientar que existem essencialmente quatro tipos de carros elétricos [2]:

- Veículos híbridos elétricos (HEVs) que são acionados por um motor de combustão interna assim como por um motor elétrico a bateria, podendo funcionar num modo ou no outro ou em simultâneo; a bateria é carregada por travagem regenerativa ou através do motor de combustão interna (como num veículo não híbrido);

- Veículos híbridos elétricos carregáveis “plug-in” (PHEVs) que são HEVs mas com a particularidade de poderem carregar a bateria diretamente a partir da rede elétrica, tendo a bateria uma maior capacidade (e autonomia elétrica);
- Veículos elétricos a bateria (BEVs) que são apenas acionados por um motor elétrico alimentado por uma bateria (não possuem motor de combustão interna) que é carregada diretamente a partir da rede elétrica, com uma autonomia dependente da capacidade da bateria;
- Veículo elétrico a pilha de combustível (FCEVs) em que a energia elétrica consumida pelo motor elétrico é gerada através de uma pilha de combustível que usa hidrogénio comprimido como vetor energético e oxigénio atmosférico; existe também um sistema de baterias associado embora de menor capacidade que nos BEVs.

Os HEVs e os PHEVs consomem ainda energia fóssil, pelo que se poderão considerar soluções intercalares/provisórias ou de transição para um caminho virado para a eletrificação plena. Têm a vantagem de serem mais facilmente integrados/ aceites pelos utilizadores por terem, por enquanto, uma maior autonomia e, no primeiro caso, não envolverem mudança de hábitos. A nível dos PHEVs, é também de ter em consideração os tempos de carga alargados.

No caso dos FCEVs, o uso do hidrogénio, que envolve vários passos para a sua obtenção, é globalmente menos eficiente (desde a produção do próprio hidrogénio até ao seu consumo na pilha de combustível) do que a utilização direta de energia elétrica via bateria. No entanto, se o hidrogénio for produzido através de energia elétrica obtida por via renovável, nomeadamente em situações de excesso de produção, sendo uma solução de armazenamento, poderá ter interesse o seu consumo a nível dos transportes. Por outro lado, é necessário comprimir o hidrogénio a uma pressão elevada e haver infraestruturas dedicadas de fornecimento aos utilizadores. Porém estas infraestruturas poderão ser associadas às já existentes (combustíveis fósseis). Acresce que os tempos e tipos de abastecimento (curto), sendo semelhantes aos atuais para os combustíveis fósseis, ao não acarretarem mudanças de hábito, poderão ser de mais fácil aceitação pelos utilizadores. A autonomia dos FCEVs é já atualmente muito próxima da dos veículos a combustíveis fósseis.

Os BEVs possuem a vantagem de utilizar diretamente a energia elétrica da rede armazenada num sistema de bateria, mas são de construção simples. Necessitam no entanto de elevados tempos de carregamento, mesmo nos chamados carregamentos rápidos, e os veículos deste tipo mais comuns têm atualmente uma autonomia bastante menor do que os restantes tipos de viaturas atrás descritos, a não ser que se opte por pacotes de com maior potência mas que oneram bastante o investimento inicial. No entanto a tecnologia e inovação neste domínio têm avançado rapidamente no sentido de crescentes densidades energéticas e tempos de carregamento mais rápidos (por exemplo, eletrólitos sólidos, novos tipos de membranas e elétrodos com novos materiais).

No caso de transportes de pesados, algumas considerações podem ser também tomadas. Por exemplo, um camião médio necessitará de 500 kWh para fazer 400 km. O seu reabastecimento corresponde à paragem obrigatória de 45 minutos do camionista a cada 400 km de acordo com regulamentos comunitários. São, no entanto, necessárias infraestruturas de carregamento adequadas de grande potência. Uma bateria para este camião acrescentaria um peso de 4-5 toneladas ao mesmo (com a tecnologia atual), mas terá que se descontar o peso do pesado motor diesel que substitui para além de outras reduções de peso. Neste domínio o hidrogénio poderá ter uma palavra a dizer. No entanto, para autonomias menores, o carregamento noturno poderá ser suficiente [2].

Para os valores atuais dos custos de energia os veículos elétricos apresentam custos inferiores sendo que a nível de manutenção geral esses custos são também bastante menores.

Existem vários tipos de motores elétricos que podem ser usados para acionar um carro elétrico com potências variando usualmente de 15 a 200 kW [2]. A maioria dos atuais fabricantes opta correntemente por motores síncronos de ímã permanente (PMSMs), mas existem também os motores de indução AC com rotores de cobre (CRIM) e os motores bobinados síncronos (SWF) [2]. De acordo com [2] (p. 13-14, Tabela 1) a nível de materiais específicos estes motores assentam em terras raras, cobre e ferrite. Os PMSMs requerem proteção térmica para evitar desmagnetização e os SWFs necessitam de corrente alternada e

continua e, portanto, de um conversor [2]. Os motores alternativos isentos de terras raras, como a máquina assíncrona (ASM) e a máquina síncrona eletricamente excitada (EESM), existem nalguns modelos de veículos elétricos de bateria (BEVs), mas não são utilizados motores sem terras raras nos veículos elétricos plug-in (PHEVs) que têm requisitos mais rigorosos em termos de tamanho compacto e estabilidade de temperatura [9].

OS MATERIAIS PARA A ELETROMOBILIDADE RODOVIÁRIA

Os motores consistem principalmente de aço, alumínio e cobre, que possuem elevados níveis de reciclabilidade. No entanto, por exemplo, os PMSMs contêm vários metais da família das terras raras, que estão na lista das matérias-primas críticas da Comissão Europeia [2]. As terras raras apresentam uma elevada volatilidade de custo, a extração/transformação pode ser poluidora, têm uma disponibilidade concentrada e limitada (China) [8]. A sua substituição por ferrite pode conduzir a um menor binário [2].

Assim, para criar um sistema energético, virado para a descarbonização, que seja verdadeiramente renovável e sustentável, teremos que também ter em atenção os minerais/materiais necessários [2]. Estes terão que ser considerados como integrantes de uma economia circular. De salientar também que a manutenção e a substituição de algumas partes pode prolongar a vida útil dos motores.

A título de exemplo, apresenta-se a seguinte **tabela**, retirada de [2], onde, para motores de indução IE3 com carcaça de alumínio, com potências de 1,1 kW a 110 kW, temos:

| Materiais | kg/kW | % (p/p) |
|-----------------------|------------------|------------|
| Aço elétrico | 4,18-11,00 | 47,2-52,4% |
| Outros aços | 0,73-1,68 | 8,0-8,2% |
| Ferro fundido | 3,00-4,55 | 21,6-33,9% |
| Alumínio | 0,22-0,75 | 2,5-3,6% |
| Enrolamento de cobre | 0,65-2,55 | 7,3-12,1% |
| Cablagem de cobre | 0,01-0,03 | 0,1-0,2% |
| Material isolante | 0,01-0,05 | 0,1-0,2% |
| Resina de impregnação | 0,05-0,3 | 0,6-1,4% |
| Tinta | 0,01-0,1 | 0,1-0,5% |
| TOTAL | 8,86-21,0 | - |

Tabela 1
Lista típica de materiais em motores elétricos

Verifica-se assim que os motores são essencialmente constituídos por aço elétrico, havendo quantidades substanciais de ferro fundido e cobre, e uma pequena quantidade de alumínio. Quando os motores têm um rotor de cobre não há (quase) nenhum alumínio presente e o teor de cobre pode ir até 20% do peso do motor [2].

Os motores de ímã permanente também contêm outros metais. A maioria faz uso de ímãs de neodímio (também chamados de NIB ou ímãs NdFeB). Estes contêm, além de ferro e boro, o neodímio, tipicamente 31%, disprósio, tipicamente 5,5%, uma pequena quantidade de praseodímio (todos da família das terras raras) e pequenas quantidades de térbio [10].

Mas não se pense que os motores elétricos dos veículos servem apenas para provocar a movimentação/tração do mesmo. Existe uma série de pequenos motores elétricos que acionam diferentes dispositivos nos veículos, por exemplo vidros elétricos, escovas limpa-vidros etc. e também estes motores são “consumidores” de materiais. Apenas como exemplo, um Toyota Prius (modelo de 2007) tinha mais de 25 pequenos motores elétricos [10].

Num HEV típico as terras raras marcam presença no motor elétrico de acionamento das rodas, na bateria principal, nos pequenos motores elétricos de vários dispositivos, nos vidros e espelhos, em vários sensores, nos ecrãs/painéis digitais, no catalisador, podendo mesmo ser usados em aditivos de combustíveis (no caso diesel) [10]. Um destes veículos, apenas no motor elétrico principal contém cerca de 2 kg de ímãs à base de terras raras (31% de neodímio; 5,5% de disprósio) [10]. Um BEV terá cerca de 2,6 kg de neodímio nesse componente [8]. A quantidade de NdFeB usada por e-bike é cerca de cerca de 0,3 kg a 0,35 kg NdFeB [9].

Assim, os BEVs podem precisar de mais lítio (baterias maiores), enquanto os veículos com pilhas de combustível podem exigir menos lítio (baterias menores), mas este último tipo de veículos também requer, por exemplo, platina e outros elementos nobres (metais do grupo da platina, PGMs), utilizados nos catalisadores das pilhas de combustível [i].

A nível das baterias, para se ter uma ideia da quantidade de materiais necessários usando como exemplo baterias de ião de lítio (Li-Ion), com diferentes tipos de química

associada e diferentes tipos de cátodos e ânodos, para dois exemplos correntes de veículos PHEVs e EVs, podemos considerar a tabela seguinte [10]:

| Tipo veículo | Material | Quantidade (kg) |
|--------------|----------|-----------------|
| PHEV 40 kW | Lítio | 1,35 – 5,07 |
| | Cobalto | 0 – 3,77 |
| EV 100 kW | Lítio | 3,38 – 12,68 |
| | Cobalto | 0-9,41 |

Tabela 2 - Quantidade de lítio e cobalto em baterias de íão de lítio típicas em automóveis híbridos e elétricos.

A grafite é outro material crítico utilizado como suporte condutor dos elétrodos (ânodo) das baterias. A China é responsável pelo fornecimento de cerca de 70% desta matéria-prima [11, 12]. A maioria dos cátodos utilizados comercialmente são óxidos de metais de transição, do tipo LiMO₂ (sendo M = Co, Ni, Mn, Al) [12].

Resumindo, a nível de elementos/materiais críticos e/ou estratégicos mais importantes utilizados nos diversos componentes dos EVs, é apresentada a lista seguinte:

| Elemento/ Matéria-prima | Componente/Aplicação |
|----------------------------|--|
| Lítio | Baterias de íões-Li (energia para tração) |
| Cobalto | Baterias de íões-Li (energia para tração) |
| Níquel | Baterias de íões-Li (energia para tração) |
| Grafite | Baterias de íões-Li (energia para tração) |
| Magnésio | Ligas leves em vários componentes e estruturas do veículo |
| Terras raras | Ímãs permanentes (motor elétrico); materiais luminescentes (ecrãs) Materiais luminescentes (ecrãs) |
| Tântalo | Condensadores |
| Nióbio | Microcondensadores |
| Índio | Ecrãs de visualização (LCD) |
| Germânio | Microchips |
| Gálio | Microchips; iluminação (LEDs) |
| Prata | Condensadores e outros componentes |
| PGMs | Fios finos condutores de alta precisão e outros componentes; catalisadores nos FCEVs Catalisadores nos veículos elétricos com células de combustível |

Tabela 3 – Elementos/materiais críticos/estratégicos dos EVs.

Os materiais com elevado grau de reciclabilidade, como o cobre ou o alumínio, promovem uma economia de 80-95% da energia necessária para a sua produção

e podem ser vistos em si próprios como uma “auto-reserva” através da designada mineração urbana (“urban mining”) [10].

Se o cobre não apresenta problemas a nível de disponibilidade, o mesmo não se passa com outros materiais, alguns relacionados com escassez ou mesmo com problemas geopolíticos e geoestratégicos que podem afetar as garantias de abastecimento. Alguns têm uma produção geograficamente muito concentrada (terras raras), outros são produzidos em zonas de guerra ou com enormes problemas sociais (cobalto).

Embora seja relativamente fácil reciclar metais comuns, como cobre, aço e magnésio, muito mais complexa é a reciclagem de produtos nos quais pequenas quantidades de vários metais estão presentes, próximos uns dos outros, ligados em revestimentos ou coberturas, ou presentes como ligas. Se, por exemplo, certas peças do motor forem recicladas através da metalurgia do cobre, o alumínio presente na mistura será perdido. Para reduzir essa perda, o motor deveria ser projetado para facilitar a separação do alumínio e do cobre durante o pré-processamento [10].

CONCLUSÕES

Uma profunda transição a nível da mobilidade está já a ocorrer. Perspetiva-se que a mobilidade elétrica alimentada pelas energias renováveis venha a ser o panorama do futuro, o que se traduzirá numa importante contribuição para a sustentabilidade energética e ambiental.

A transição energética oferece oportunidades de crescimento económico e social. Países como o nosso em que por vezes existem excessos de produção de energia elétrica por via renovável, deverão promover o seu armazenamento. Soluções de bombagem hídrica poderão ser completadas nalgumas situações com produção de hidrogénio renovável, nomeadamente para consumo nos FCEVs, pelo menos inicialmente a nível de algumas frotas.

Face às reservas de lítio existentes no nosso país, a sua exploração em termos de fileira, promovendo a produção de sistemas de armazenamento energético para vários fins mas associados essencialmente à mobilidade elétrica poderá ajudar a promover este tipo de transição.

REFERÊNCIAS

- [1] IEA (International energy Agency)/UIC (International Union of Railways), Railway Handbook 2017, 2017.
- [2] De Wachter B., White Paper – Electric motors in the energy transition, European Copper Institute, Publication No. Cu0254, 2018.
- [3] Macário J., Elétricos poluem menos 50% que Diesel, afirma estudo, 25 out 2017, Jornal Económico, em <http://www.jornaleconomico.sapo.pt/noticias/elétricos-poluem-menos-50-que-diesel-afirma-estudo-225421> acedido em 20 novembro 2018.
- [4] European Commission, Commission Staff Working Document / Impact Assessment / Accompanying the document "Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2012/27/EU on energy Efficiency", Brussels, 30.11.2016.
- [5] <https://www3.eurelectric.org/the-european-power-sector-in-transition/electricity-is-decarbonising/> assessed in 4th March 2019.
- [6] European Commission, JRC Technical Report, Well-to-wheels (Appendix1-Version 4.a) / Summary of WTW Energy and GHC balances, 2014.
- [7] Eurostat, Oil and petroleum products – a statistical overview, junho, 2017.
- [8] Materials for Energy, SETIS Magazine, 8 (2015).
- [9] Pavel C.C., Marmier A., Alves-Dias P., Blagoeva D., Tzimas E. (Joint Research Center). Substitution of critical raw materials in low-carbon technologies: lighting, wind turbines and electric vehicles. EUR 28152. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union; 2016. doi:10.2790/793319.
- [10] EWI, Rare Earth Materials: Important Industrial Applications and Uses, Rare earth Roundtable, 2011.
- [11] Report on Raw Materials for Battery Applications, COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT, Brussels, 17.5.2018 SWD (2018) 245 final.
- [12] N. Nitta, F. Wu, J.T. Lee, G. Yushin, Li-ion battery materials: present and future, Materials Today 2015, 18(5), 252-264.

Para citação deste artigo: Gil, Luís, *Materiais Necessários para a Transição Energética Via Mobilidade Elétrica Rodoviária, Ciência & Tecnologia de Materiais*, vol. 31, n. 1, pag. 22 - 27, 2019 (ISSN 0870-8312) (www.spmaterials.pt).

DURIT
grupo **DURIT**

UMA EMPRESA
DA COMUNIDADE

UM PROJETO
VENCEDOR

UM DOS MAIORES
EMPREGADORES
DE ALBERGARIA

TODOS QUEREMOS
SER DURIT

Forma, qualifica
e valoriza os seus
colaboradores

Na primeira linha
dos apoios sociais

Na vanguarda da
sustentabilidade